

—シンポジウム—
Symposia

第 2 回極域気水圏シンポジウム報告

楠 宏*

Summary of the Second Symposium on Polar Meteorology and Glaciology, October 2, 1979, Tokyo

Kou Kusunoki*

は し が き

表題のシンポジウムは昭和 54 年 10 月 2 日、国立極地研究所が主催し同所で行われた。このシンポジウムは話題を雲物理学関係にしぼり、プログラムに示されるように「エアロゾル」と「雲と降水」に分けられている。前者は、南極観測隊の気象学の研究観測「南極におけるエアロゾルおよび微量気体成分の研究」が、第 17 次 (1975-77) から第 19 次にかけて行われ、その成果の一部の発表も含まれている。後者は極域観測計画 (POLEX) の中の北極域観測計画が 1979 年から 1980 年にかけて実施される予定となっており、これに関連した話題が取りあげられた。なお、近く行われる予定の中層大気国際共同観測 (MAP) に関連し、南極におけるライダー観測が話題に予定されていたが、講演者の欠席のため中止となった。以下に当日のプログラムと講演のアブストラクトを示す。

プログラム

- I. エアロゾル 座長 小野 晃 (名大水圏研)
 1. 昭和基地周辺大気中のエアロゾルの性状について 伊藤朋之
 2. 極域における日射収支の特性 村井潔三
 3. 極地大気での氷晶生成のメカニズム 大竹 武 (紹介: 小野 晃)
 コメンテーター: 岩井邦中 (信州大), 田中正之 (東北大・極地研)
- II. 雲と降水 座長 樋口敬二 (名大水圏研)
 1. 極域の雲と放射過程: 北極の夏季層雲 太田幸雄
 2. 北極域・南極域の降雪粒子 菊地勝弘
 3. 北極域の雲と降水の観測計画 武田喬男
 コメンテーター: 田中正之, 片山 昭 (気象庁予報部)

I.1. 昭和基地周辺大気中のエアロゾルの性状について

伊藤朋之 (気象研究所)

ソ連、米国の南極基地でこれまでに行われてきた観測結果を検討し、南極大陸上のエアロゾルの特性と起源に関する研究の現状を報告した。次いで、17 次以来 3 次にわたって行った昭和基地を

中心とする大気エアロゾルの研究観測結果について報告した。主な内容は以下のとおりである。

昭和基地では、エアロゾル粒子は夏高濃度、冬低濃度といった、極点やミールヌイで見出された

* 国立極地研究所, National Institute of Polar Research, 9-10, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173.

のと同じ変化の型を示す。高濃度となる夏のエイトケン粒子は、 200°C の加熱に対し消失する揮発性に富んだ粒子であり、おそらく硫酸を主体にした粒子であろう。

極点で報告されたようなエイトケン粒子の2つの型の急増現象は、昭和基地でも観測された。第1の型の急増現象では、エイトケン粒子の全粒径にわたって増加がみられ、増加する粒子は 600°C の加熱でも消失しない粒子であった。これらの特徴は、海洋性エアロゾルの特徴である。ブリザードに伴って起こるこの型の急増現象は年間通じてみられるが、特に冬から冬明けにかけて活発である。第2の型の急増現象では、エイトケン粒子の内でも最も粒径の小さいクラスの増加が顕著であり、増加する粒子は揮発性に富んだものであった。これらの特徴は光化学反応による2次粒子の特徴である。比較的静穏な気象状態で起こるこの型の急増現象は、太陽光のない冬には現れず、春から

夏にかけて活発である。

大粒子については、エイトケン粒子と逆に冬高濃度、夏低濃度という変化の型が確認された。電子顕微鏡、放射化分析、などの物質に関する解析結果から、冬期は海洋起源のエアロゾル、夏は光化学反応によってできる硫酸が主体を占めていることがわかった。

以上のことがらをまとめてみると、昭和基地では、エアロゾルは夏と冬でははっきり異なった起源を持つことがわかる。冬は海洋性のエアロゾルが低気圧系によって運ばれてきたものが主体となり、夏は、上空で光化学反応によって生じた硫酸粒子が下層に運ばれてきたものが主体となっている。

さらに詳しくは、「南極大気中のエアロゾルの観測」(極地, 15(2), 16-26, 1980), 「南極昭和基地における大気エアロゾル観測」(天気, 27(1), 13-24, 1980)を参照されたい。

1.2. 極域における日射収支の特性

村井潔三 (気象研究所)

極域における放射測定は、南北両域ともかなり豊富な資料が得られており、平均状態について知ることはそれほど困難ではない。その特徴としては、まず第一に、極域は年間通じて冷却域であるということ、ついで、地表面アルベードが非常に大きいこと、大気が清澄であること、雲は薄く、低い層雲状のもの出現が多く、放射に対する特有の効果を示すことなど多くの性質が知られている。これらは、最近の最大課題である気候変動の

問題の中でも重要な要素をなすものであって、その変動の実態、放射に対する役割などが今後の研究対象となる。以下、3要素だけを取りあげて簡単に記してみる。

(1) 地表面アルベードの変動

雪氷面と海面とではアルベードの値は著しく異なり、氷と水の混在する領域では氷域の面積の変化に伴ってアルベードが大きく変化することが予想される。Barrowにおける実験観測によれば、

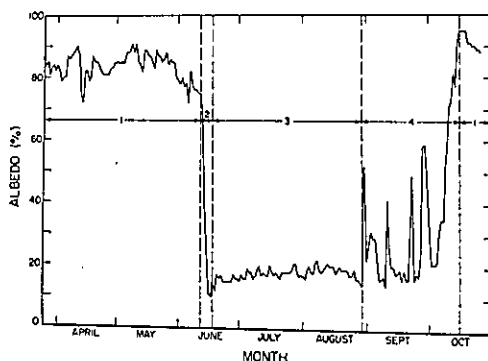


図1 ツンドラ地帯のアルベードの年変化 (WEAVERの測定: Radiation Regime Over Arctic Tundra and Lake, 1966. Univ. Washington, 112p, 1970). アルベードの日平均値の年変化を示すもので、その特性は図中の破線によって分割される4つの期間に分類される。1: 冬季安定期, 2: 春季変動期, 3: 夏季安定期, 4: 秋季変動期である。とくに期間2は数日の間に起こる変動を示し、この変動の出現は年によって異なり、これがその後の放射収支量を大きく変動させる。

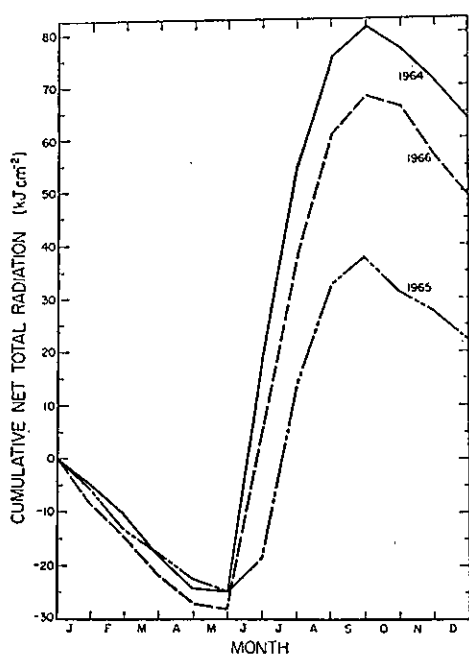


図2 Barrowにおける地表面放射収支量の積算値の年変化。図1に示された春季変動期間の出現は、1964年；5月下旬，1965年；6月末，1966年；6月15日頃となっていて、これに対応して年間の放射収支量は1964年が最大，1965年が最小となり、かなり大きな差が認められる。

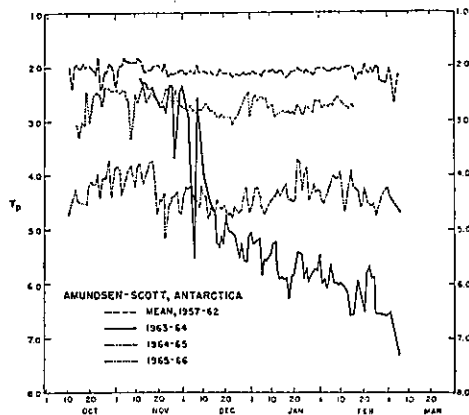


図3 南極点における混濁因子 (T_p) の変動 (VIEBROCK and FLOWERS: Tellus, 20, 400, 1968). $T_p = \tau / \tau_R$, $\tau = \tau_R + \tau_M + \tau_G$; τ_R : 空気分子の消散係数, τ_M : エアロゾルの消散係数, τ_G : オゾン, 水蒸気等の気体の吸収による消散係数. 1963年3月, Mt. Agung の噴火によるエアロゾルの増加に対応して, 1963年末から1964年にかけて T_p は増加し, 1965年ごろはほぼ回復していることが示されている。

春秋の氷域の消滅と成長によるアルベードの変化が非常に興味深い状態で測定され (図1), これに伴う放射収支量の変化の状況が実測されている (図2)。

(2) 極域の大気混濁度

大気混濁状態については、日射測定によってかなり古くから知られており、波長別の日射測定も少ないながら行われ、情報はしだいに精密になってきている。平均的にはきわめて清澄な大気で

あるが、低緯度地域の火山噴火によるエアロゾルの流入による一時的な混濁度増加の事実が測定されている (図3)。これが、どういう効果をもたらすのか明瞭にする必要があろう。

(3) 極域における CO_2 の変動 (図4)

CO_2 の放射に対する効果は、極域ではより強調され、その変動は重要な意味を持つ。したがって、極域での CO_2 の測定は今後ますます精度を高めて豊富にすることが必要である。

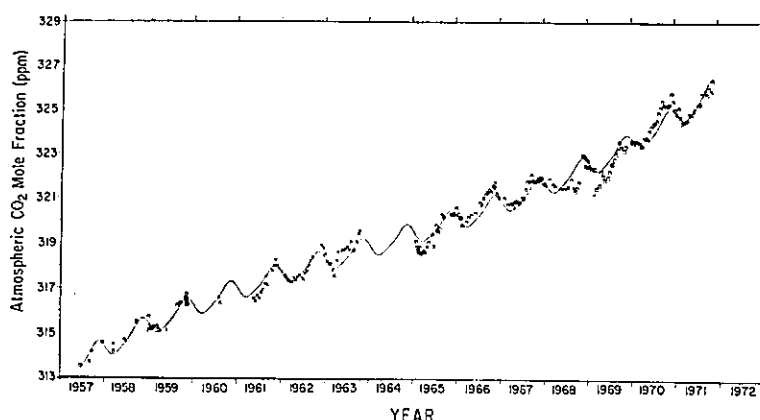


図4 南極点における大気中 CO_2 量の永年変化 (KEELING *et al.*: *Tellus*, 28, 552, 1976).

滑らかな曲線は、測定値に最もよく合うような振動指数関数によって表した変動。

○: Applied Physics Analyzer (フラスコ採集)

□: URAS Analyzer (フラスコ採集)

×: 連続測定から求めた月2回の平均値

I.3. 極地大気での氷晶生成のメカニズム

大竹 武 (アラスカ大学)

極地方では雲のない空から氷晶が降ることが観測されている。それらの生成原因を明らかにするため、各地で観測を行った。Fairbanks でのそのような氷は発電所や自動車の廃気が水滴を経て、それらが凍って氷晶になることが分かった。アラスカ北部の Barrow での氷晶は北極海の極氷の割れ目の水面から出る水蒸気が凍ってできる氷晶と暖房や車の廃気によってできる氷晶があることが測定器を積んだ飛行機の観測によって明らかにされた。いずれも水滴がまずできてそれらが凍ったものであることがその結論である。

南極点での氷晶についてはこれらを3つの異なった固形降水に分ける。

1) 海拔約 8000 m 以下ではあるが、2 mm 位の大きさの砲弾集合型を主体とする氷晶が巻雲系の雲から降ってきて、その頻度は 70% を占める。これらはその下層にある水蒸気の量によるが、多くの場合蒸発し切れず、または途中でさらに成長して、極点付近の高さ約 2800 m の雪面に落下し、降水量としては最大の寄与をもっている。

2) 約 5000 m ほどの中層雲から 1~2 mm の

側面板状集合結晶を主体とする固体降水がある。

これらは頻度は 1) より少ないが粒子が大きいので積雪量への寄与は少なくない。

3) 層雲もしくはまったく雲のない空から clear sky precipitation として薄六角板状を主体とする降水があるが、これらは 20~200 μm ほどの比較的小さい結晶からなり、積雪量としての寄与は無視できるぐらい小さいが、その生成に関しては雲物理学上興味深い。これらの結晶は雲はもちろん、時として氷飽和以上の水蒸気が上空に存在しなくとも観測されることがある。一般に北寄りの風の時にできるので、わずかながら中部高原の斜面にそって強制上昇させられた低層の湿った空気が層雲を作り、それらの雲粒が凍って氷晶になるものと思われる。これら層雲は時として南極点からの視界外のはなれた所にできることもあり、これらの氷晶はかなり低い湿度の下層大気中でも、しばらくは蒸発しきれずに、遠い風下の観測点まで到達することは十分考えられる。これら clear sky precipitation は高さ数十 m から 300 m のほとんど常時存在する湿った層の中で、わずか

な空気の乱れによってできる。

以上については1年間を通して同じことがいえ、全体としては1年間に300日以上頻度で固体降水として報告されている。

氷晶を作る水蒸気は源がウェッデル海ないしは

太平洋で、500 mb~700 mb の高さで約 10~15 日で極点付近まで輸送される。これらの核は Si および Al で代表される土壌物質が多く、それ以外に S および海塩を示唆する Na, Mg や Cl も多く見出されている。

II.1. 極域の雲と放射過程：北極の夏季層雲

太田幸雄（北海道大学工学部）

夏季の北極海域はほとんど常に層雲によって覆われている。実際、VOWINCKEL and ORVIG の解析によると7月の平均雲量は90%以上であり、その雲量のうち70%以上は層雲である。また JAYAWEEERA and OHTAKE の観測によると、この層雲は、生成後数日ではっきりと2層以上に分かれ、その層雲間の間隔は300~500 m、雲水量は $0.1 \sim 0.2 \text{ g/m}^3$ 程度であり、雲粒の最多粒径（半径）は $6.5 \mu\text{m}$ である。

この層雲の存在は放射過程を通して夏季の北極海域の大気境界層の構造に非常に大きな影響を与えている。すなわち、層雲の上端における強い放射冷却により層雲上部は気温が低下し強い温度逆転層を形成する。一方、海表面は融解しつつある水であり気温は常に 0°C である。このため北極海域の大気境界層では、層雲上部の逆転層を頂部に持った強い混合層が発達していることが予想される。

この夏季北極層雲の成因としては JAYAWEEERA

の解析による、北極海周辺からの温湿な空気が移流によって運ばれ海水によって冷却されてできるとする、いわゆる移流霧であるとする説が有力である。この生じた霧はその上端における強い放射冷却により上部の気温を低下させ水蒸気の凝結を促進させる。その結果霧（層雲）は上方に向かって成長して行くことになる。一方、北極海域の夏季は白夜であり常に太陽放射が存在するが、雲粒（水滴）は $2 \sim 3 \mu\text{m}$ の波長域においてこの太陽放射を吸収し強く加熱される。この加熱率の最大の位置は層雲の中央部と考えられ、そのため層雲は中央部が昇温することにより雲粒が蒸発して2層に分かれていくものと予想される。

今後、この夏季北極層雲の生成過程について、雲粒による散乱過程および CO_2 , H_2O の吸収帯による吸収効果を厳密に取り入れて放射加熱冷却率を評価し、大気境界層モデルに組み込んで、数値計算を行っていく予定である。

II.2. 北極域・南極域の降雪粒子

菊地勝弘（北海道大学理学部地球物理学教室）

最近、極地での雲物理学的な観測が進むにつれて、いろいろな興味ある現象が明らかになってきた。ここでは、筆者が直接観測研究にたずさわった北極域（主としてアラスカやカナダの北部）と南極昭和基地での越冬、および2度にわたる夏季のアメリカ南極点基地での観測結果をもとにして、両域における降雪粒子に関する問題点を紹介する。

北極域における厳冬期の地上気温は -40°C 前

後、時には -50°C 以下になることもあるが、それに対して、南極点周辺の夏の始めの地上気温もしばしば -40°C を記録することがある。今、ここで両地域のほぼ同じ時期の地上気温が $-30^\circ\text{C} \sim -40^\circ\text{C}$ だからといって、それがまったく同じような条件の雪の結晶や、降水機構があると考えるのは間違っている。

それは、南極点周辺は海拔高度 2800 m 以上で夏季のため、(1) 接地逆転が割合小さい、(2) 雲

層が非常に薄い, (3) 水蒸気源 (いわゆる bulk water) が非常に遠い, といった特徴がある。一方, カナダ北西準州 イヌヴィック (68°22'N, 133°42'W) 周辺では, 海拔高度 100 m 以下で, (1) 接地逆転が非常に大きく, 30°C/1000 m になることもあり, 地上 1000 m 付近で 0°C 位になることがある, (2) 雲層が非常に厚い, (3) 水蒸気源は北極海での open lead 等は不明であるが, 気圧配置によっては, 太平洋から上層への温度, 湿度移流がある, 等々。

以上のことから, 雪の結晶形について, 南極点では, 樹枝状結晶やあらればほとんど降らないが, イヌヴィックではしばしば観測される。降水機構については, 南極点では中層雲, 上層雲の薄

い層からの降水が主であるが, イヌヴィックでは下層雲を含む, 厚い雲層からの降水であり, 両地点の地上気温が同じぐらいといっても, 降水強度はけた違いの差がある。

これまでの観測結果から, 極域における降水現象には次のような問題が含まれよう。

1. 畸形雪結晶, -30°C 以下での板状結晶の成長, 氷晶の性質 (結晶成長の面から)
2. Clear sky precipitation (降水機構の面から)
3. 角柱結晶の growth mode (極域での代表的な結晶としての放射に与える面から)
4. 降水強度 (極域における mass budget の面から)。

II.3. 北極域の雲と降水の観測計画

武田喬男 (名古屋大学水圏科学研究所)

北極域の雲と降水は, 極域の冷源の変動にも大きな影響を与えているが, その実態と形成機構を調べるため, 1979 年 11 月から 1980 年 1 月にかけてカナダノースウェスト準州イヌヴィック市において, 雲と降水の特別観測を行う。参加機関は名古屋大学水圏科学研究所と北海道大学理学部であり, 観測は, 実態すら十分に明らかにされていない冬期の雲と降水を対象にして行われる。主要な観測項目は,

- 1) ミリ波垂直レーダーによる雲の微細構造の観測
 - 2) PPI レーダーによる降水雲の水平・垂直的広がりや移動の観測
 - 3) 降雪粒子の型と数密度の観測
 - 4) 降雪・積雪中の安定同位体組成・微量化学成分の測定
- であり, この他に補助観測として,
- 5) エーロゾル (吸湿性エーロゾル, 氷晶核) の観測
 - 6) 降雪粒子の電荷, 大気電場の測定を行う。

観測は主に下記の課題を調べるために行われる。

- a) どのような型の雲がどのような厚さ, どのような空間スケールで存在するか。
- b) どのような型の降雪粒子がどれだけの数密度でどのような機構のもとに降るか。
- c) 雲はどれだけの雪水量で構成され, どのような速さで降雪量に変換されているか。
- d) 雲・降雪はどのような源と径路をもつ水蒸気により形成されているか。

北極域では, 夏期に背の低い層雲がかなりの頻度で形成され, 大気中の熱収支に重要な役割を果たしていることがよく知られている。極域では (冬期) ごく下層に強い逆転層がしばしば現れるのかどうか, 雲と降水の形成において下層の逆転層がどのような働きをしているのか等は興味ある課題であろう。極域において, 波長 8.6 mm のレーダーと波長 3.2 cm のレーダーを用いて雲と降水の観測を行うのは初めてであり, 新しい興味ある観測事実が得られることを期待したい。

(1980 年 7 月 25 日受理)